

Extraits du programme :

Partie 2 - Formation expérimentale

Ondes Mesure d'une célérité.	Mesurer la célérité d'une onde par diverses méthodes : étude d'ondes progressives en propagation libre, étude d'ondes stationnaires.
--	--

Partie 3 - Formation disciplinaire : PHYSIQUE DES ONDES

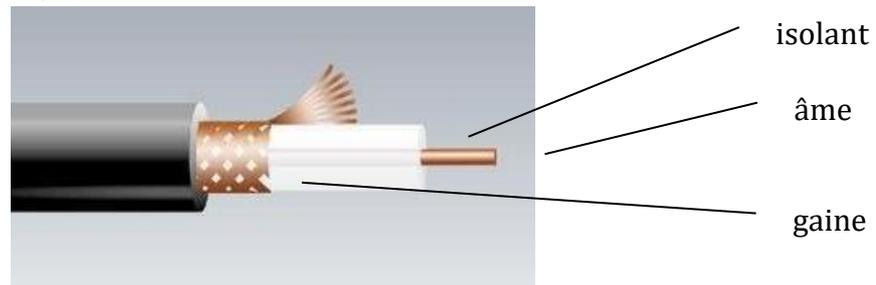
Ondes de tension et de courant dans un câble coaxial sans pertes Réflexion en amplitude sur une impédance terminale.	Étudier la réflexion en amplitude de tension pour une impédance terminale nulle, infinie ou résistive.
---	---

PROPAGATION D'ONDES DANS UNE LIGNE COAXIALE

Le but de ce TP est de déterminer la célérité et d'étudier la réflexion d'une onde électromagnétique dans un câble coaxial. On justifiera les caractéristiques d'absorption et de dispersion de ce milieu.

1. Présentation

Le câble est composé de deux conducteurs cylindriques coaxiaux séparés par un isolant. Le conducteur central, cylindre de rayon a , constitue « l'âme » du câble, le conducteur extérieur, de rayon b , constitue la « gaine ».



1. ARQS

On rappelle que l'Approximation des Régimes QuasiStationnaires, ARQS, consiste à supposer que la valeur d'une grandeur instantanée $i(t)$ ou $u(t)$ est la même en tout point du circuit à un instant donné, ce qui revient à négliger la taille du circuit devant longueur d'onde électromagnétique λ .

2. Phénomène de propagation

Une onde se propage dans un milieu à la célérité v si $s(x,t) = s(0, t - \Delta t)$ où $\Delta t = x / v$ est la durée mise par l'onde pour aller de O à M d'abscisse x . Δt est aussi appelé le retard de l'onde en M par rapport à l'onde en O .

Un milieu est dit dispersif si la célérité de l'onde dépend de la fréquence.

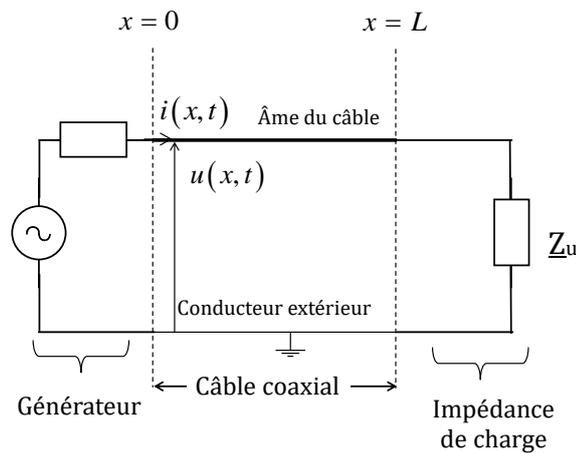
Un milieu est dit absorbant si l'amplitude de l'onde diminue au cours de la propagation.

3. Montage

Le câble est connecté, en $x=0$, à un générateur (de résistance interne R_g) par l'intermédiaire d'une fiche BNC ; le conducteur extérieur est alors relié à la masse du générateur et l'intérieur à la borne qui délivre le signal.

L'extrémité située en $x=L$ est fermée sur une impédance de charge que l'on note de façon générale Z_u .

Le système est alors équivalent au schéma électrique ci-dessous.



4. Phénomène de réflexion

En fonction de la valeur de l'impédance de charge, il peut ou non se produire un phénomène de réflexion de l'onde électromagnétique dans le câble.

Le coefficient de réflexion en tension en un point d'abscisse x est défini comme le rapport des amplitudes de la tension réfléchie et de la tension incidente :

$$r(x) = \frac{U_{\text{réfléchie}}(x)}{U_{\text{incidente}}(x)}$$

soit en bout de ligne ($x = L$)

$$r(L) = \frac{U_{\text{réfléchie}}(L)}{U_{\text{incidente}}(L)} \text{ avec } -1 \leq r(L) \leq 1$$

On montre que ce coefficient a pour expression :

$$r(L) = \frac{Z_u - Z_c}{Z_u + Z_c}$$

- Que vaut ce coefficient de réflexion lorsque le bout de ligne est en circuit ouvert ? Lorsque le bout de ligne est en court-circuit ?
- A quelle condition n'existe-t-il aucune onde réfléchie ? On dit que l'impédance de charge est adaptée à la ligne .
- Pourquoi n'existe-t-il aucune onde réfléchie en $x = 0$?

5. Phénomène de résonance

En régime sinusoïdal forcé $U(x,t) = U_A \cdot \cos(\omega t + \varphi) \cdot \cos(kx + \psi)$ où $k = \omega / v$

On suppose que l'extrémité en $x = L$ est en circuit-ouvert qui impose $\cos(kL + \psi) = 1$.

En déduire la valeur la plus simple de ψ qui réalise cette condition, puis que

$$U(x,t) = U_A \cdot \cos(\omega t + \varphi) \cdot \cos(k(x-L)).$$

On suppose que le générateur en $x = 0$ impose $U(x=0,t) = U_o \cdot \cos(\omega t)$. En déduire φ sachant que $-\pi/2 < \varphi < \pi/2$, puis exprimer U_A en fonction de U_o , k et L .

En déduire l'expression de $U(x,t)$ en fonction de U_o et L .

A quelle condition sur U_A , puis sur k observe-t-on un phénomène de résonance ?

Montrer que les fréquences de résonance successives s'écrivent, dans cette situation

$$f_n = \frac{v}{4L}(1+2n), \text{ on pose } f_0 = \frac{v}{4L}, \text{ fréquence du mode fondamental.}$$

2. Matériel

Vous disposez : d'un câble coaxial (type RG58) de longueur $L = 100$ m et d'impédance caractéristique $Z_c = 50 \Omega$, d'une résistance $R = 50 \Omega$ de bout de ligne ainsi que d'une boîte à décade, d'un générateur basse fréquence d'impédance interne $R_g = 50 \Omega$, et d'un oscilloscope.

3. Manipulations

Avant de connecter le câble au générateur, régler l'émission d'un signal sinusoïdal d'amplitude $E = 6V$ et de fréquence 1 kHz.

Réaliser le montage du 1.3 avec une résistance de charge $R = 50 \Omega$ et observer à l'oscilloscope les signaux en tête de ligne ($x=0$) et en bout de ligne ($x=L$).

Connecter le câble, quelle est alors la valeur E' de l'amplitude du signal délivré par le générateur ?

En déduire la valeur de la résistance du câble coaxial.

1. Approximation des régimes stationnaires, coefficient d'amortissement, célérité v

On estimera la précision de chaque mesure.

Mesurer l'amplitude E'' du signal en $x = 100m$, ainsi que le retard Δt le signal en $x = 100$ m et en $x = 0$ pour les fréquences 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz, 10 MHz.

Déduire de la mesure de Δt la célérité de l'onde dans le câble.

Estimer l'ordre de grandeur du rapport E''/E' .

Le milieu est-il dispersif ? Absorbant ?

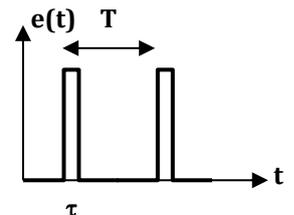
Pour chaque mesure calculer la longueur d'onde et la comparer à la taille du circuit. A partir de quelle fréquence l'ARQS n'est-elle plus vérifiée ?

Remarque : dans la suite, on ne tiendra pas compte des atténuations légères observées : on assimilera E' à E'' .

2. Réflexion en bout de ligne

A l'aide de l'oscilloscope, branché simplement sur le générateur, régler ce dernier de manière à ce qu'il délivre une tension de la forme ci-contre, avec un niveau haut à $E = 6V$ et un niveau bas à 0 V. On règlera pour cela le rapport cyclique au minimum.

Se placer à une fréquence de 300 kHz.



La résistance de bout de ligne est toujours réglée sur 50Ω .

Que mesure-t-on en $x = L$: l'amplitude de l'onde incidente, l'amplitude de l'onde réfléchie ou la somme des amplitudes de l'onde incidente et de l'onde réfléchie ?

Circuit ouvert :

Retirer la résistance de bout de ligne ; quelle est alors la valeur de la résistance de charge ? Observer le signal en $x = 0$ et en $x = L$, et en reproduire l'allure, en notant bien les amplitudes et les décalages temporels. Interpréter.

Court-circuit :

Recommencer en mettant un bouchon court-circuit en fin de
Comprendre le phénomène et interpréter.

3. Etude en régime permanent sinusoïdal

La tension d'entrée est sinusoïdale de pulsation ω et la sortie du câble ouverte.

On montre alors que la tension peut s'écrire :

$$U(x,t) = 2.U_0.\cos(\omega t - kL).\cos(k(x-L)).$$

De quel type d'ondes s'agit-il ?

Montrer qu'on observe en $x = 0$ des nœuds et des ventres de tension pour les fréquences :

$$f_{nV} = n \frac{c}{2L} ; f_{nN} = (2n + 1) \frac{c}{4L} \text{ avec } n \text{ entier naturel.}$$

Mesurer les fréquences donnant des nœuds et des ventres en entrée.

Evaluer l'incertitude-type sur la fréquence.

Tracer à l'aide de Latis-Pro les courbes permettant de vérifier les lois ci-dessus, en faisant apparaître les barres d'incertitude.

A l'aide d'une modélisation, calculer la valeur de c et son incertitude.

Comparer à la première détermination.